

# Le saumon atlantique de la rivière Matane : croissance marine, abondance des retours en rivière et indice de l'oscillation nord-atlantique

François Grégoire, Yvon Côté, Alain Caron et Richard Cloutier

Volume 144, numéro 2, automne 2020

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/1071607ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/1071607ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

## Éditeur(s)

La Société Provancher d'histoire naturelle du Canada

ISSN

1929-3208 (numérique)

[Découvrir la revue](#)

## Citer cet article

Grégoire, F., Côté, Y., Caron, A. & Cloutier, R. (2020). Le saumon atlantique de la rivière Matane : croissance marine, abondance des retours en rivière et indice de l'oscillation nord-atlantique. *Le Naturaliste canadien*, 144(2), 31–45.  
<https://doi.org/10.7202/1071607ar>

## Résumé de l'article

L'abondance du saumon atlantique (*Salmo salar*) dans le nord de l'Atlantique a diminué considérablement au cours des dernières décennies. Jusqu'à maintenant, peu de stocks ont montré des signes de rétablissement malgré des efforts importants pour renverser cette situation. Les niveaux décroissants d'abondance des saumons adultes de retour en rivière pourraient être associés à une augmentation de la mortalité naturelle en mer découlant d'une réduction de la croissance. La présente étude a pour but de vérifier si 2 indices de croissance scalaire en phase marine (la distance intercirculi maximale atteinte lors de la première saison estivale en mer et la somme des distances intercirculi de la zone de croissance marine des écailles) et l'abondance des retours de saumon dans la rivière Matane (Québec, Canada) appuient cette hypothèse. Bien que ces indices présentent des différences interannuelles significatives, ils affichent une tendance à la hausse de 1964 à 1979 et une tendance à la baisse de 1995 à 2012. Ces tendances sont semblables à celles des retours de saumons adultes en rivière et à celles de l'indice de l'oscillation nord-atlantique (IONA). Ces similitudes concordent avec l'hypothèse d'une relation inverse entre la croissance marine et la mortalité et, conséquemment, les variations d'abondance qui en résultent.

# Le saumon atlantique de la rivière Matane : croissance marine, abondance des retours en rivière et indice de l'oscillation nord-atlantique

François Grégoire, Yvon Côté, Alain Caron et Richard Cloutier

## Résumé

L'abondance du saumon atlantique (*Salmo salar*) dans le nord de l'Atlantique a diminué considérablement au cours des dernières décennies. Jusqu'à maintenant, peu de stocks ont montré des signes de rétablissement malgré des efforts importants pour renverser cette situation. Les niveaux décroissants d'abondance des saumons adultes de retour en rivière pourraient être associés à une augmentation de la mortalité naturelle en mer découlant d'une réduction de la croissance. La présente étude a pour but de vérifier si 2 indices de croissance scalaire en phase marine (la distance intercirculi maximale atteinte lors de la première saison estivale en mer et la somme des distances intercirculi de la zone de croissance marine des écailles) et l'abondance des retours de saumon dans la rivière Matane (Québec, Canada) appuient cette hypothèse. Bien que ces indices présentent des différences interannuelles significatives, ils affichent une tendance à la hausse de 1964 à 1979 et une tendance à la baisse de 1995 à 2012. Ces tendances sont semblables à celles des retours de saumons adultes en rivière et à celles de l'indice de l'oscillation nord-atlantique (IONA). Ces similitudes concordent avec l'hypothèse d'une relation inverse entre la croissance marine et la mortalité et, conséquemment, les variations d'abondance qui en résultent.

**MOTS-CLÉS :** circuli, croissance marine, mortalité naturelle, oscillation nord-atlantique, saumon atlantique

## Abstract

The abundance of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in the North Atlantic has declined significantly in recent decades. Despite substantial efforts to reverse this trend, few stocks have shown signs of recovery. The decreasing number of adult salmon returning to rivers may be due to an increase in natural marine mortality linked to a reduction in growth. The present study aimed to verify whether this hypothesis was supported by two marine phase scalar growth indices (the maximum intercirculi distance attained during the first summer at sea and the total intercirculi distance of the marine growth zone) and the abundance of salmon returning to the Matane River (Québec, Canada). Although the two indices show significant interannual differences, they show an upward trend from 1964 to 1979 and a downward trend from 1995 to 2012. These trends are similar to those of river returns by adult salmon and to the North Atlantic Oscillation Index (NAOI). These similarities support the hypothesis of an inverse relationship between marine growth and mortality, which would subsequently result in variations in abundance.

**KEYWORDS:** Atlantic salmon, circuli, marine growth, natural mortality, North Atlantic Oscillation

## Introduction

Au cours des dernières décennies, les populations de saumon atlantique (*Salmo salar*), dans tout le nord de l'Atlantique, ont connu une baisse importante (ICES, 2015). Cette baisse a engendré de nombreuses préoccupations quant à l'avenir de l'espèce (Jonsson et collab., 1999; Potter et Crozier, 2000). Sur le plan international, des quotas ont été imposés aux prises réalisées au Groenland, afin de réduire la pression sur les populations de saumon provenant de l'Amérique du Nord et du sud de l'Europe (ICES, 2015). Au Québec, comme ailleurs dans l'est du Canada, des efforts importants ont été déployés pour renverser cette situation, notamment en réduisant la mortalité lors de la phase marine du saumon par la fermeture graduelle de toutes les pêches commerciales de l'espèce (Lear, 1993). Des mesures de gestion ont également été mises en place pour réduire les captures accidentelles de saumons en mer, causées par un grand nombre de pêcheries aux poissons pélagiques (MPO, 2018). La remise à l'eau des captures de

grands saumons, lors des pêches récréatives, a également été introduite afin de réduire les mortalités en rivière et d'accroître le nombre de géniteurs participant à la reproduction. Malgré tous ces efforts, la situation demeure préoccupante pour la plupart des populations du Canada (COSEPAC, 2010). L'absence de rétablissement des populations de saumon

*François Grégoire est biologiste à la retraite du ministère des Pêches et des Océans du Canada, évaluation de l'abondance des stocks de poissons pélagiques.*

*philgreg@globetrotter.net*

*Yvon Côté est biologiste à la retraite du Gouvernement du Québec.*

*Alain Caron est professionnel d'enseignement et de recherche spécialisé en biostatistiques, sciences marines et analyses spatiales, Université du Québec à Rimouski.*

*Richard Cloutier est professeur au Département de biologie, chimie et géographie de l'Université du Québec à Rimouski, où il dirige le Laboratoire de paléontologie et de biologie évolutive.*

atlantique et les faibles niveaux actuels d'abondance seraient le résultat d'une hausse de la mortalité naturelle en mer (Dempson et collab., 1998; Maoiléidigh et collab., 2003).

Au cours des 20 dernières années, l'Atlantique Nord a connu des changements importants de ses caractéristiques physico-chimiques et biologiques (Beaugrand et Reid, 2003; 2012). Ces changements se sont répercutés sur plusieurs espèces du réseau alimentaire dont fait partie le saumon atlantique. Ainsi, la modification de plusieurs facteurs, individuellement ou collectivement, a pu affecter la mortalité naturelle du saumon et, conséquemment, son abondance (Chaput, 2012).

Cette étude, qui traite du saumon de la rivière Matane (figure 1), poursuit 3 objectifs : (i) décrire les variations d'abondance des retours de saumons dans cette rivière après leur séjour marin ; (ii) vérifier si ces variations d'abondance sont associées à des variations de la croissance marine, qui peut être déduite à partir de la croissance scalaire des poissons et de leur taille corporelle à maturité ; et (iii) comparer les variations annuelles de l'abondance des retours en rivière et de la croissance à celles de l'indice de l'oscillation nord-atlantique (IONA). Les fluctuations de cet indice sont responsables des changements de croissance individuelle, des traits de vie et de la dynamique de population de plusieurs espèces de poissons marins (Ottersen et collab., 2001; Zimmermann et collab., 2019).

## Matériel et méthodes

### Nomenclature

Dans cette étude, les principaux termes employés pour désigner les stades de vie en mer du saumon atlantique ont été adaptés, en langue française, de la terminologie anglaise proposée par Allan et Ritter (1977). Ainsi, les saumons unibermarins, dibermarins et tribermarins ont séjourné, respectivement, 1, 2 et 3 ans en mer avant leur retour en rivière pour une première fraie. Les saumons rédibermarins ont passé plus d'un hiver en mer, qu'ils aient frayé ou non, et les reproducteurs multipares sont des saumons ayant participé à plus d'une fraie. La « cohorte », qui en dynamique de population peut correspondre à différentes définitions, désigne ici l'année de la smoltification.

### Rivière étudiée et abondance des retours

La collection d'écailles provenant des captures sportives de la rivière Matane remonte à 1965. Leur prélèvement et leur conservation, de même que l'enregistrement des données de captures (p. ex. : date, heure, lieu de capture, longueur corporelle à la fourche et masse totale) sur des enveloppes d'échantillonnage, ont été réalisés dès le début de cette collecte en respectant le même protocole d'échantillonnage (Deschamps, 2012).

Les saumons de retour dans cette rivière (abondance) ont également été comptabilisés depuis 1965 à la passe migratoire annexée aux barrages de la Price Brothers (1965-1971) et Mathieu-D'Amours (depuis 1972) situés, au même endroit, près de l'embouchure (Guérard, 2016; Pomerleau et collab., 1980). Les nombres obtenus sont regroupés en 2 catégories

selon la longueur à la fourche. Les petits saumons (< 63 cm), ou saumons unibermarins, appartiennent à la première catégorie et les grands saumons ( $\geq$  63 cm), ou saumons rédibermarins, à la seconde catégorie. Dans celle-ci, la proportion annuelle de saumons dibermarins s'élève en moyenne à 0,85 ( $\pm$  0,04) (Pomerleau et collab., 1980). Pour chacune de ces 2 catégories, les variations interannuelles des retours ont été examinées et les tendances interannuelles ont été définies à l'aide d'une régression polynomiale locale (de type « loess ») (Wickham, 2016).

### Sélection et traitement des écailles

Les échantillons d'écailles de saumons de la rivière Matane couvrent un total de 51 ans, répartie en 2 périodes, soit de 1965 à 1980 (n = 10 années; données manquantes pour 1967, 1968, 1971, 1973, 1975 et 1977) et 1997 à 2015 (n = 18 années; données manquantes pour 1998). Les écailles récoltées de 1981 à 1996 ont malheureusement été égarées, et très peu d'écailles ont été prélevées depuis 2016. Pour les besoins de l'étude, un échantillon a été constitué parmi tous ceux disponibles soit, pour chacune des années, 30 petits saumons unibermarins (< 63 cm) et 30 grands saumons rédibermarins ( $\geq$  63 cm). La plupart des saumons de cette dernière catégorie sont des dibermarins. Les longueurs de ces saumons ont été analysées afin de déceler d'éventuelles variations annuelles. Les écailles ont été préparées selon le protocole présenté dans Deschamps (2012). Par la suite, 5 écailles par saumon ont été montées entre des lames de verre. Ces écailles ne devaient pas présenter de signes de régénération, de marques de fraie ou d'altération et, de préférence, elles devaient avoir les épaules bien définies afin de faciliter la détermination de l'âge en mer (Mahé et collab., 2012). Cette dernière a été réalisée à l'aide d'un stéréomicroscope M50 de marque Leica<sup>MD</sup>, à éclairage vertical, en suivant les critères de lecture préétablis pour le saumon atlantique (ICES, 1992).

### Scalimétrie et mesure de croissance

La scalimétrie est une technique qui permet de déterminer l'âge et d'évaluer la croissance des poissons à partir de leurs écailles (Baglinière et Porcher, 1994). Ces structures osseuses sont caractérisées par la présence de stries concentriques, ou circuli, dont le taux de déposition est relié à la température de l'eau et au régime alimentaire (Thomas et collab., 2019). La croissance de l'écaille est liée à celle du poisson par une relation de proportionnalité (Heidarsson et collab., 2006), que nous avons vérifiée en comparant le rayon des écailles aux longueurs à la fourche des saumons correspondants.

La croissance scalimétrique a été évaluée à partir des éléments suivants : (i) le nombre de circuli ; (ii) la distance intercirculi ; et (iii) le rayon entre le foyer de l'écaille et la fin des zones de croissance (annuli) en rivière (ou à la smoltification) et en mer, selon une procédure similaire à celle de Fisher et Pearcy (2005) et Hogan et Friedland (2010). Ces éléments ont été mesurés sur des images numériques d'écailles (une par saumon), le long de l'axe de 360° (figure 2) (Jensen et collab., 2012). La numérisation des images a été réalisée avec

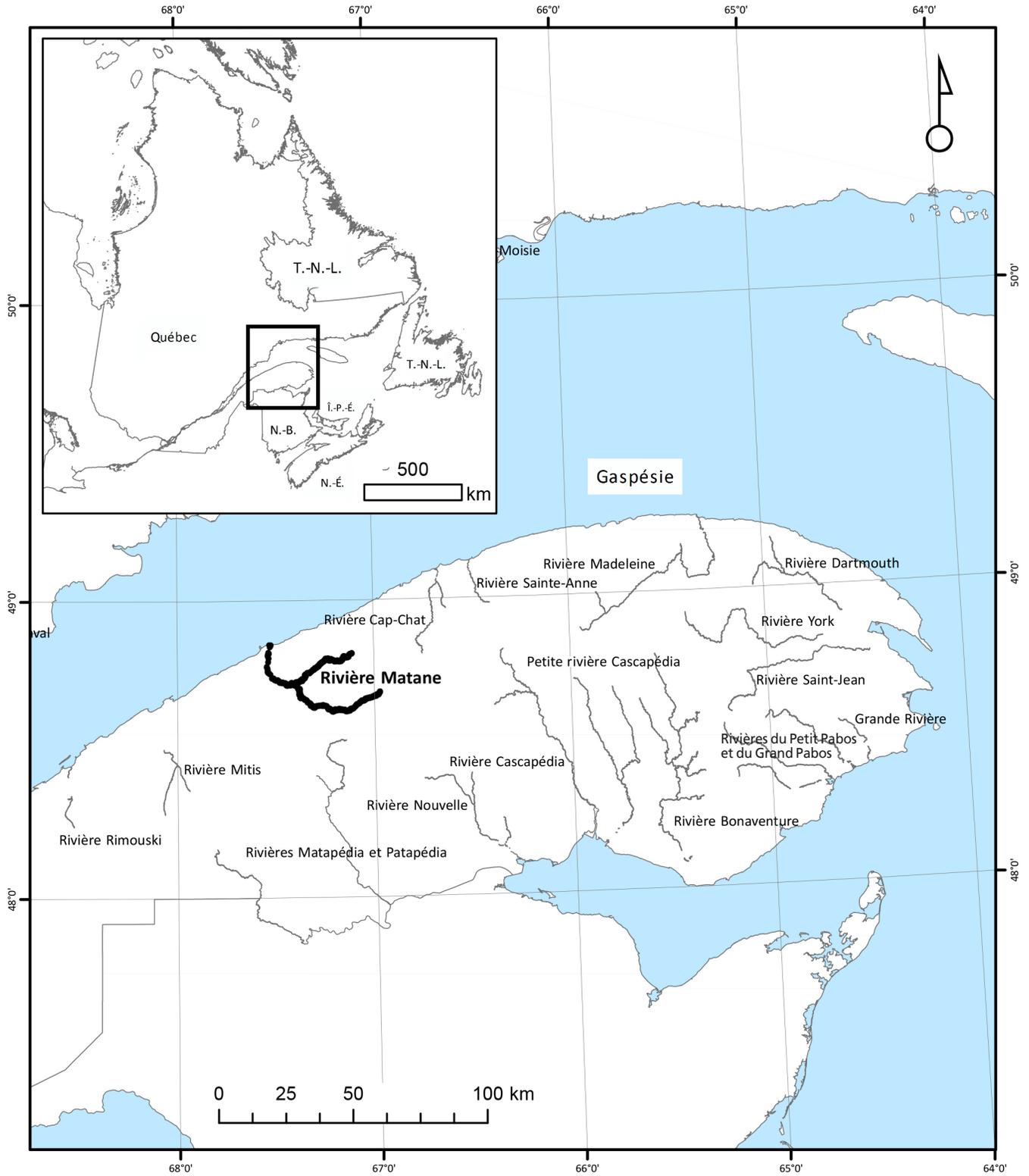


Figure 1. Carte de l'est du Canada montrant l'emplacement de la rivière Matane. Î.-P.-É. : Île-du-Prince-Édouard; N.-B. : Nouveau-Brunswick; N.-É. : Nouvelle-Écosse; T.-N.-L. : Terre-Neuve-et-Labrador.

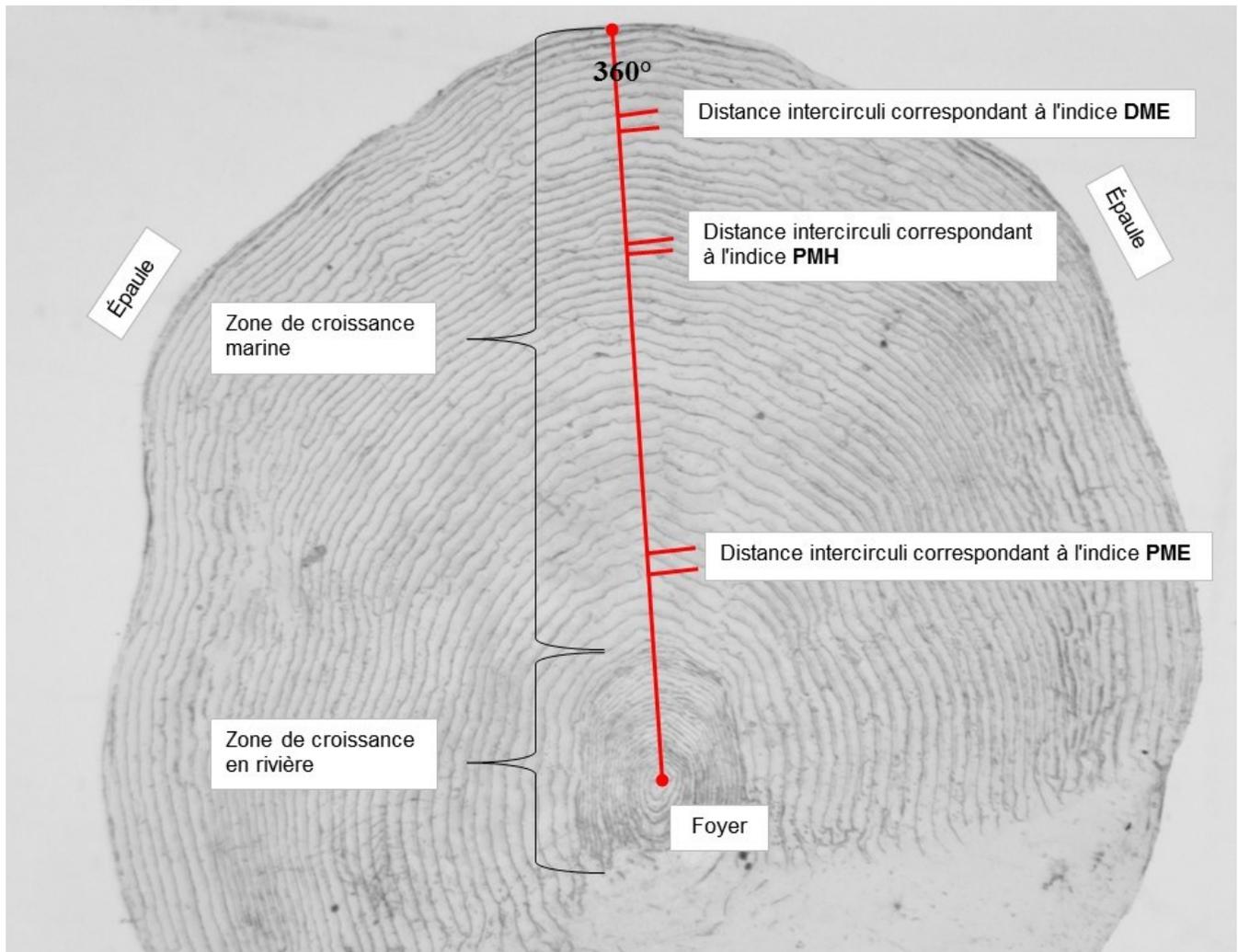


Figure 2. Écaille d'un saumon unibermarin de la rivière Matane illustrant le foyer, la zone de croissance en rivière, la zone de croissance marine, les épaules et les distances intercirculi (mesurées le long de l'axe de 360°) correspondant aux indices de croissance PME (premier maximum estival), PMH (premier minimum hivernal) et DME (deuxième maximum estival). L'indice SOM correspond à la somme des distances intercirculi de la zone de croissance marine de l'écaille. La première distance intercirculi se situe entre le dernier circulus de la zone de croissance en rivière et le premier circulus de la zone de croissance marine de l'écaille.

une résolution de 14 mégapixels, ce qui a permis d'obtenir des images d'une résolution de  $4096 \times 3288$  pixels, supérieure à celle recommandée pour le traitement des images numériques d'écailles de saumon atlantique (Salsea-Merge, 2008). Aucune analyse scalimétrique n'a été réalisée sur des écailles de saumons tribermarins ou de reproducteurs multipares.

### Motifs annuels de la déposition des circuli

Les motifs annuels de la déposition des circuli chez les saumons unibermarins et dibermarins ont été caractérisés à l'aide de modèles additifs généralisés (GAM) (Hastie et Tibshirani, 1986; 1990). Ces derniers ont été appliqués aux distances intercirculi moyennes calculées entre chaque paire de circuli à l'aide du logiciel R (version 3.6.1) (R Core Team, 2019) et des bibliothèques *linear and nonlinear mixed effects models (nlme)* (Pinheiro et collab., 2016), *mixed GAM computation*

*vehicle with automatic smoothness estimation (mgcv)* (Wood, 2006; 2011) et *interpreting time series and autocorrelated data using GAMMs (itsadug)* (van Rij et collab., 2016). La première paire de circuli comprenait le dernier circulus de la zone de croissance en rivière et le premier circulus de la zone marine de l'écaille.

### Indice de croissance scalaire

Tous les indices de croissance scalaire ont été tirés des tendances annuelles modélisées. Les indices retenus sont : (i) la distance intercirculi maximale atteinte au cours de la première (PME), deuxième (DME) et troisième (TME) saison estivale en mer ; (ii) la distance intercirculi minimale au premier (PMH) et second (DMH) hiver en mer ; (iii) la somme des distances intercirculi associée à chacun de ces indices ; (iv) le nombre correspondant de paires de circuli ; et (v) la somme

des distances intercirculi de la zone de croissance marine de l'écaïlle (SOM). En milieu contrôlé, les indices de croissance estivaux correspondent au solstice d'été et les indices hivernaux au solstice d'hiver (Fjellidal et collab., 2005; Imsland et collab., 2014). La croissance associée aux indices DME et TME se produit lors de la migration génésique (retour vers la rivière natale pour la reproduction) des saumons unibermarins et dibermarins. Les valeurs annuelles des indices ont été comparées entre elles, aux longueurs corporelles moyennes des saumons correspondants ainsi qu'aux nombres de saumons de retour en rivière. Les motifs de déposition des circuli de la première saison en mer ont été comparés pour les saumons unibermarins et dibermarins issus d'une même cohorte. Ce nombre ne s'élève qu'à 4 cohortes pour la première période d'échantillonnage et à 16 cohortes pour la seconde période en raison de l'absence d'échantillons certaines années. Les variations annuelles des indices PME et SOM ont été examinées, et les tendances ont été calculées à l'aide d'une régression polynomiale locale (de type « loess »).

### Choix d'un indice environnemental

Les indices de croissance ont également été comparés aux valeurs annuelles de l'IONA (NOAA, 2016). Cet indice a été préféré à l'indice d'oscillation atlantique multidécennale (OAM) qui est basé sur les variations de la température sur des périodes de l'ordre de 40 à 80 ans. L'IONA, pour sa part, reflète l'ensemble des conditions climatologiques et océaniques de l'Atlantique Nord, notamment celles de la région comprenant les routes de migration et les zones d'alimentation marine du saumon atlantique des rivières du Québec (Gauthier-Ouellet et collab., 2009; Reddin et Friedland, 1993). Il correspond en fait au mode dominant du comportement atmosphérique annuel de l'Atlantique Nord (Beaugrand, 2015). L'IONA représente une mesure des changements de pression qui surviennent au niveau de la mer entre Lisbonne, au Portugal, et Stykkishólmur, en Islande (Hurrell et collab., 2001; Polonskii et collab., 2004). Ces changements de pression affectent la force des courants marins qui, à leur tour, affectent le transport de la chaleur et la quantité de précipitations. De faibles valeurs ou des valeurs négatives sont associées à des eaux plus chaudes sur les côtes de l'est du Canada, à des hivers plus doux au Groenland, mais à de l'air froid dans le nord de l'Europe. Nous avons calculé les valeurs de l'IONA annuelles à partir des moyennes mensuelles de janvier à décembre, plutôt que de s'en tenir à la phase d'alimentation la plus intensive, qui correspond à une période plus restreinte de l'année. Ainsi, elles reflètent davantage l'ensemble des phénomènes écologiques qui peuvent affecter directement ou indirectement la croissance du saumon. Nous avons aussi calculé les tendances de l'IONA à l'aide d'une régression polynomiale locale (de type « loess »).

## Résultats

### Nombres de saumons de retour en rivière

Deux constats se dégagent de cette étude (figure 3). Premièrement, les nombres de saumons unibermarins

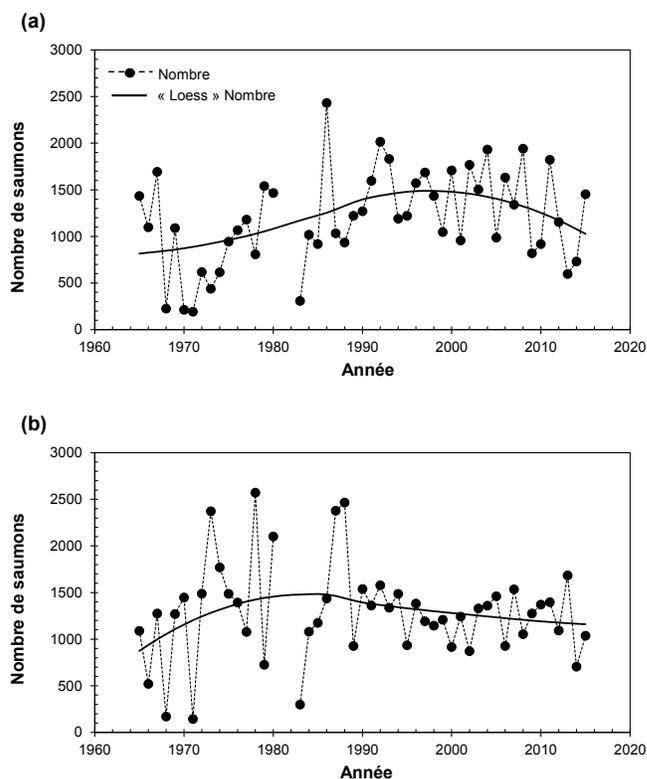


Figure 3. Nombre de saumons atlantiques unibermarins (a) et rédibermarins (b) ayant franchi la passe migratoire de la rivière Matane (valeurs lissées, méthode « loess »). Les nombres de saumons n'ont pas été notés en 1981 et en 1982.

et rédibermarins de retour en rivière sont fort variables annuellement, en particulier de 1965 jusqu'au début des années 1990. Deuxièmement, malgré les variations annuelles observées, les 2 groupes affichent des tendances interannuelles des nombres de retours avec une période de croissance jusqu'à une valeur maximale, puis une décroissance. Le maximum d'abondance se produit en 2000 chez les saumons unibermarins et en 1985 pour les rédibermarins.

### Longueur à la fourche et rayon de l'écaïlle

Les longueurs moyennes à la fourche (cm) des saumons unibermarins présentent des variations interannuelles qui affichent une tendance à la hausse lors de la première période d'échantillonnage et une tendance à la baisse lors de la seconde période (figure 4a). Les longueurs moyennes des saumons dibermarins présentent également des variations et des tendances similaires (figure 4b). La relation entre les rayons (mm) des écaïlles analysées et les longueurs des saumons correspondants peut être décrite à l'aide d'une régression linéaire ( $R^2 = 0,72$ ;  $p < 0,001$ ) (figure 4c), ce qui confirme le lien de proportionnalité entre la croissance scalaire et la croissance corporelle.

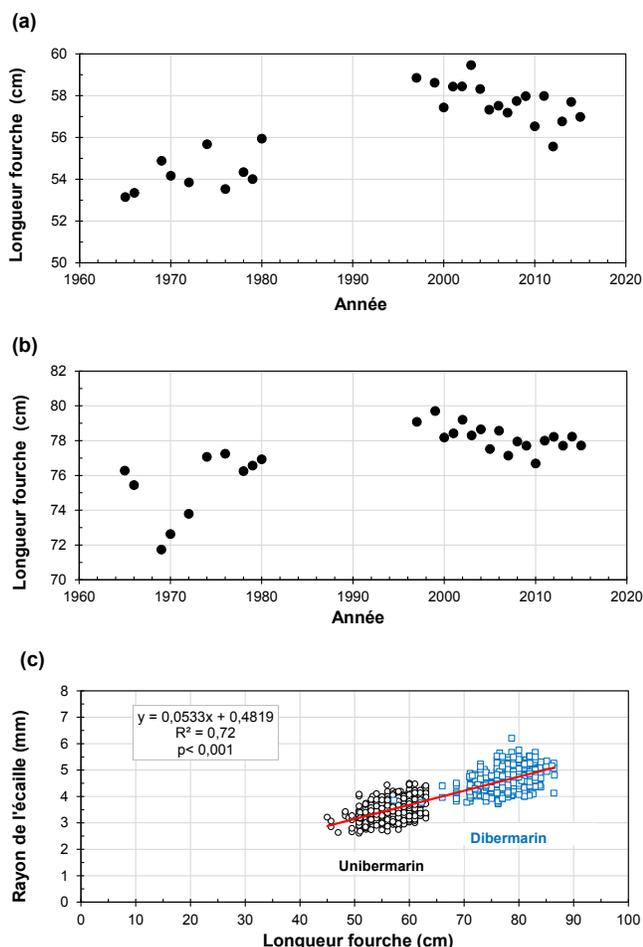


Figure 4. Longueur moyenne annuelle à la fourche (cm) pour les saumons dont les écailles ont été analysées dans cette étude: a) saumons unibermarins; b) saumons dibernarins; c) relation entre le rayon de l'écaille (mm) et la longueur à la fourche (cm).

### Motifs annuels de la déposition des circuli et indices de croissance

Pour les saumons unibermarins, tous les coefficients paramétriques et les termes de lissage des modèles GAM sont significatifs ( $p < 0,001$ ). Les déviations annuelles expliquées par ces modèles varient de 92,3 à 97,7%. Pour les saumons dibernarins, tous les modèles GAM sont également significatifs ( $p < 0,001$ ) avec des déviations annuelles expliquées variant de 81,8 à 94,8%.

Le passage de la rivière à la mer se caractérise par une augmentation rapide des distances intercirculi. Deux périodes d'accroissement de ces distances sont présentes dans les motifs de déposition des saumons unibermarins (figure 5a). Ces périodes se terminent respectivement par l'atteinte du premier (PME) et du second (DME) maximum estival. Les distances intercirculi présentent également 2 périodes de réduction de la croissance avec l'atteinte, à la fin de la première période, du premier minimum hivernal (PMH). L'indice PME, qui est

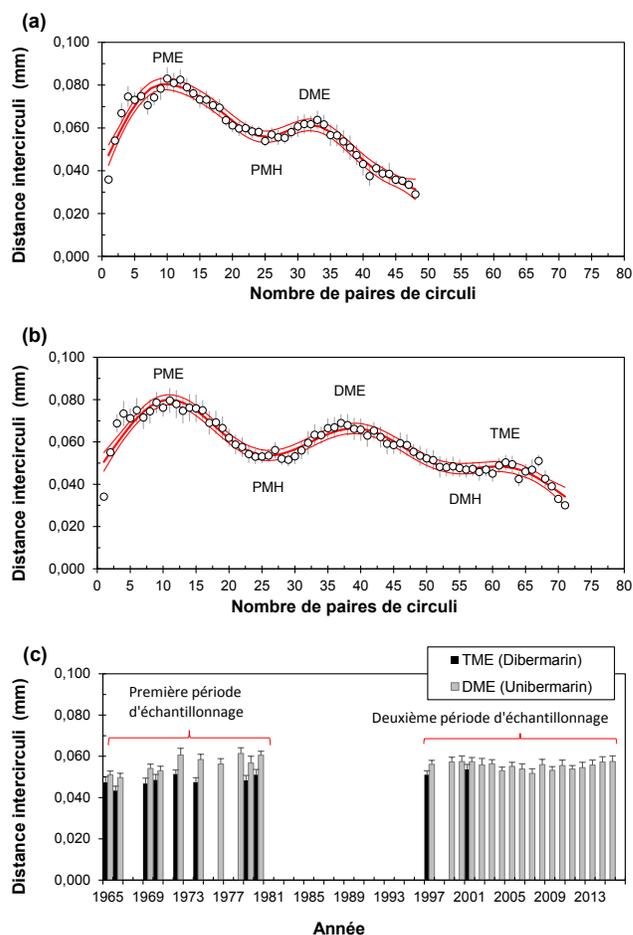
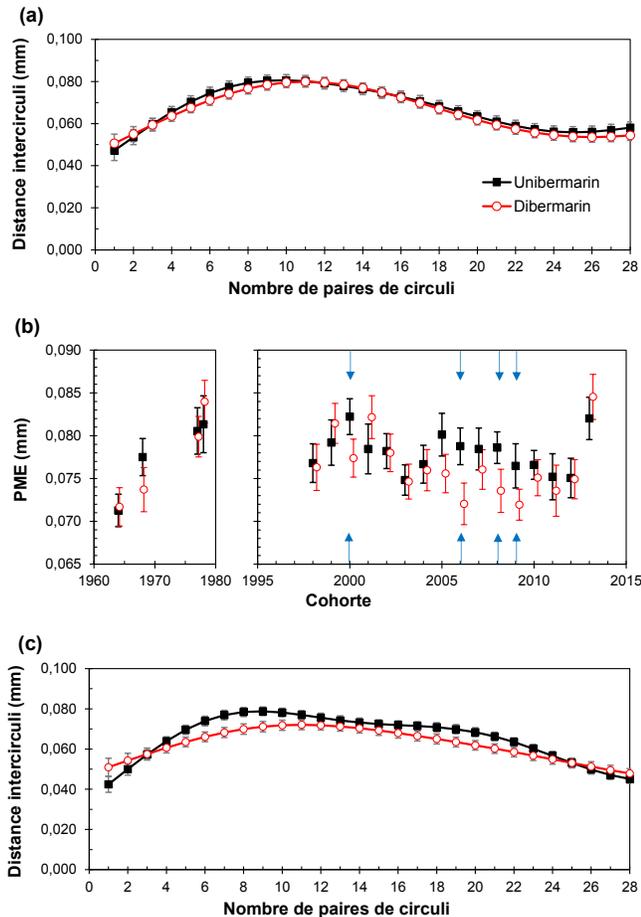


Figure 5. Distances intercirculi moyennes et ajustées (mm)  $\pm$  IC 95 % selon le nombre de paires de circuli pour: a) les saumons unibermarins ( $n = 30$ ) capturés en 1978 (cohorte 1977) (PME = premier maximum estival; PMH = premier minimum hivernal; DME = deuxième maximum estival); b) les saumons dibernarins ( $n = 30$ ) capturés en 1979 (cohorte 1977) (DMH = deuxième minimum hivernal; TME = troisième maximum estival); c) les indices TME et DME (mm)  $\pm$  IC 95 % pour les périodes 1965-1980 et 1997-2015.

toujours plus élevé que l'indice DME, est généralement associé à une seule paire de circuli.

En plus des indices précédents, un deuxième minimum hivernal (DMH) et un troisième maximum estival (TME) caractérisent les motifs de déposition des saumons dibernarins (figure 5b). L'indice TME est visible pour 8 des 10 années de la première période d'échantillonnage (sauf en 1976 et en 1978), mais seulement chez 2 des 18 années (1997 et 2001) de la deuxième période (figure 5c). Plus précisément, les circuli associés au TME sont toujours présents, mais ils ne présentent pas l'augmentation et la diminution des distances intercirculi qui caractérisent normalement cet indice ainsi que les indices PME et DME. Chez ces saumons dibernarins sans TME, l'indice DMH n'a pu être établi en raison de la



**Figure 6.** Motifs types de la déposition des circuli pour les saumons unibermarins et dibermarins provenant d'une même cohorte: a) distance intercirculi (mm)  $\pm$  IC 95 % pour la cohorte de 1977 (unibermarins capturés en 1978 et dibermarins capturés en 1979); b) indice de croissance PME (premier maximum estival, mm)  $\pm$  IC 95 % pour les 20 cohortes comparées dans cette étude (les flèches indiquent les différences significatives entre les 2 groupes); c) distance intercirculi (mm)  $\pm$  IC 95 % pour la cohorte de 2006 (unibermarins capturés en 2007 et dibermarins capturés en 2008).

diminution continue des distances intercirculi qui fait suite à l'indice DME.

Des motifs similaires de déposition caractérisent la première saison en mer de la plupart des saumons qui ont smoltifié la même année (figure 6a). Parmi les 20 cohortes comparées, en se basant sur les intervalles de confiance à 95 %, des différences significatives de l'indice PME ont été détectées à 4 reprises, soit pour les cohortes 2000, 2006, 2008 et 2009 (figure 6b). Pour ces dernières, les distances intercirculi sont significativement différentes et plus grandes chez les saumons unibermarins (figure 6c). Ces différences apparaissent vers la cinquième paire de circuli et demeurent présentes, pour

des raisons non élucidées, jusqu'à l'atteinte des indices PME (cohortes 2000 et 2008) ou PMH (cohortes 2006 et 2009).

### **Relation entre les indices de croissance et la longueur corporelle moyenne**

Les tableaux 1 et 2 présentent un sommaire des valeurs des indices de croissance et des longueurs moyennes annuelles pour les saumons unibermarins et dibermarins, respectivement. Chez les saumons unibermarins, les relations entre la somme des distances intercirculi et le nombre correspondant de paires de circuli au PME, au PMH et au DME peuvent être décrites par une régression linéaire (tableau 3a). Il en va de même des relations entre la longueur corporelle moyenne et le nombre de paires de circuli au PMH et au DME, mais non au PME. Des relations linéaires significatives sont également présentes entre l'indice SOM et la somme des distances intercirculi aux PMH et DME (tableau 3b). Chez les saumons dibermarins, les relations entre la somme des distances intercirculi et le nombre de paires de circuli au PME, au PMH, au DME et au DMH peuvent également être décrites à l'aide de régressions linéaires (tableau 3a), tout comme celles entre la longueur corporelle moyenne et le nombre de paires de circuli au PMH, au DME et au DMH, mais non au PME, ainsi que des relations entre la SOM et la somme des distances intercirculi au PME, au PMH, au DME, au DMH et au TME (tableau 3b).

### **Indices de croissance et retours de saumons en rivière**

Autant chez les saumons unibermarins que dibermarins, l'indice de croissance PME présente des différences interannuelles significatives (comparaison des intervalles de confiance à 95 %), malgré une tendance générale à la hausse lors de la première période d'échantillonnage des écailles (1965 à 1980) (figure 7). La deuxième période d'échantillonnage (1997 à 2015) est plutôt caractérisée par une tendance à la baisse de l'indice PME, sauf chez les saumons unibermarins des cohortes 2013 et 2014 (capturés en 2014 et 2015) (figure 7a) et chez les saumons dibermarins de la cohorte 2013 (capturée en 2015) (figure 7b) qui sont caractérisés par des indices plus élevés.

L'indice de croissance SOM est, quant à lui, caractérisé par une tendance à la hausse suivie d'une légère baisse lors de la première période d'échantillonnage, et par une tendance à la baisse suivie d'une hausse, lors de la seconde période. Chez les saumons unibermarins, cette seconde tendance à la hausse est causée par les indices élevés des cohortes 2012-2014 (figure 8a) et chez les saumons dibermarins, par ceux des cohortes 2011-2013 (figure 8b).

Chez les saumons unibermarins et dibermarins, aucune relation statistiquement significative n'existe entre les nombres de saumons de retour en rivière et les indices de croissance PME et SOM. Par contre, les tendances de ces retours présentent une similitude avec celles des 2 indices de croissance scalaire.

**Tableau 1. Sommaire des indices de croissance scalimétrique et de la longueur moyenne à la fourche (cm) pour les saumons unibermarins des cohortes 1964-1979 et 1996-2014. Les abréviations sont définies aux figures 5 et 8.**

Cohorte	Distance intercirculi (mm)			Nombre de paires de circuli			Distance intercirculi cumulative (mm)				Longueur à la fourche (cm)
	PME	PMH	DME	PME	PMH	DME	PME	PMH	DME	SOM	
1964	0,0713	0,0459	0,0510	7	24	35	0,4204	1,4851	2,0169	2,4320	53,15
1965	0,0718	0,0444	0,0497	8	24	34	0,4934	1,4938	1,9724	2,4540	53,35
1966	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
1967	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
1968	0,0775	0,0489	0,0541	7	26	36	0,4442	1,7010	2,2095	2,6660	54,89
1969	0,0767	0,0480	0,0530	12	25	32	0,7956	1,6658	1,9719	2,6340	54,16
1970	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
1971	0,0791	0,0541	0,0606	13	25	31	0,8790	1,6695	2,0769	2,7310	54,00
1972	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
1973	0,0780	0,0483	0,0584	15	26	37	1,0369	1,7156	2,3057	2,8330	55,67
1974	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
1975	0,0775	0,0537	0,0563	14	27	36	0,9076	1,7490	2,2464	2,9370	53,68
1976	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
1977	0,0806	0,0559	0,0614	10	25	32	0,6886	1,7069	2,1205	2,8430	54,36
1978	0,0813	0,0521	0,0568	12	25	33	0,8331	1,6861	2,1246	2,7470	53,90
1979	0,0821	0,0474	0,0606	7	28	36	0,4580	1,8740	2,3107	2,6390	55,81
1996	0,0806	0,0491	0,0561	9	29	39	0,6132	1,9068	2,4389	3,1120	58,86
1997	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
1998	0,0768	0,0482	0,0573	9	30	41	0,5745	1,9049	2,4920	3,2520	58,62
1999	0,0792	0,0429	0,0574	9	29	39	0,6005	1,8817	2,3944	3,2350	57,35
2000	0,0822	0,0512	0,0574	8	29	39	0,5425	1,9634	2,5103	3,1340	58,35
2001	0,0785	0,0435	0,0559	10	29	39	0,6655	1,8781	2,3815	3,1910	58,45
2002	0,0782	0,0466	0,0563	8	29	40	0,5203	1,8287	2,3939	2,9520	59,46
2003	0,0748	0,0429	0,0530	8	28	38	0,5056	1,7107	2,2018	2,8870	58,44
2004	0,0767	0,0474	0,0551	7	28	38	0,4448	1,7838	2,2994	2,9000	57,38
2005	0,0801	0,0493	0,0538	9	30	39	0,6113	1,9789	2,4430	3,0170	57,43
2006	0,0788	0,0436	0,0517	9	30	38	0,5913	1,9231	2,3091	3,0260	57,09
2007	0,0785	0,0487	0,0560	9	29	38	0,6086	1,8935	2,3669	3,1260	57,75
2008	0,0786	0,0461	0,0532	8	30	39	0,5267	1,8767	2,3283	3,0170	57,98
2009	0,0765	0,0477	0,0555	15	29	36	1,0390	1,9168	2,2823	2,9930	56,34
2010	0,0766	0,0465	0,0538	10	30	39	0,6377	1,8450	2,2987	2,9470	57,84
2011	0,0752	0,0490	0,0545	7	27	38	0,4406	1,7278	2,2965	2,7910	55,55
2012	0,0751	0,0509	0,0558	9	29	36	0,5741	1,8744	2,2484	3,0830	56,87
2013	0,0820	0,0506	0,0573	9	27	38	0,6204	1,8899	2,4863	3,0990	57,64
2014	0,0786	0,0535	0,0574	8	33	40	0,5289	2,1818	2,5711	3,0590	56,98

**Tableau 2. Sommaire des indices de croissance scalimétrique et de la longueur moyenne à la fourche (cm) pour les saumons dibermarins des cohortes 1963-1978 et 1995-2013. Les abréviations sont définies aux figures 5 et 8.**

Cohorte	Distance intercirculi (mm)					Nombre de paires de circuli					Distance intercirculi cumulative (mm)						Longueur à la fourche (cm)
	PME	PMH	DME	DMH	TME	PME	PMH	DME	DMH	TME	PME	PMH	DME	DMH	TME	SOM	
1963	0,0748	0,0457	0,0558	0,0430	0,0474	10	25	39	57	66	0,6444	1,5206	2,2464	3,1367	3,5454	3,9210	77,28
1964	0,0717	0,0450	0,0554	0,0433	0,0434	10	26	38	56	58	0,6217	1,5335	2,1440	3,0182	3,1050	3,5690	75,44
1965	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
1966	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
1967	0,0721	0,0477	0,0602	0,0460	0,0468	11	29	40	53	58	0,6974	1,7638	2,3655	3,0386	3,2711	3,8270	71,72
1968	0,0737	0,0447	0,0609	0,0468	0,0486	11	29	41	54	60	0,7160	1,7582	2,4045	3,0870	3,3744	3,7710	72,63
1969	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
1970	0,0762	0,0476	0,0614	0,0480	0,0514	12	26	38	56	64	0,7774	1,6380	2,2995	3,2764	3,6759	4,0900	73,79
1971	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
1972	0,0768	0,0525	0,0654	0,0474	0,0475	12	26	38	58	61	0,7858	1,6760	2,3974	3,4950	3,6374	4,1160	77,38
1973	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
1974	0,0840	0,0507	0,0707	nd	nd	13	26	38	nd	nd	0,9037	1,7684	2,5033	nd	nd	4,4043	77,24
1975	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
1976	0,0784	0,0490	0,0625	nd	nd	11	27	41	nd	nd	0,7370	1,7095	2,5024	nd	nd	3,8530	76,25
1977	0,0799	0,0536	0,0664	0,0474	0,0484	11	26	39	55	61	0,7558	1,7352	2,5220	3,4199	3,7075	4,1330	76,65
1978	0,0840	0,0497	0,0676	0,0507	0,0511	12	26	38	55	60	0,8379	1,7555	2,4759	3,4505	3,7053	4,2540	76,88
1995	0,0803	0,0501	0,0657	0,0504	0,0511	12	30	43	58	63	0,8211	1,9719	2,7293	3,5864	3,8407	4,5290	78,48
1996	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
1997	0,0785	0,0443	0,0660	nd	nd	10	28	44	nd	nd	0,6769	1,7607	2,6469	nd	nd	4,2540	79,72
1998	0,0763	0,0477	0,0667	nd	nd	11	32	45	nd	nd	0,7373	2,0240	2,7762	nd	nd	4,2770	78,40
1999	0,0814	0,0469	0,0693	0,0535	0,0537	11	30	44	58	61	0,7626	1,9735	2,7930	3,6317	3,7926	4,4710	78,45
2000	0,0774	0,0493	0,0680	nd	nd	11	33	46	nd	nd	0,7371	2,0909	2,8690	nd	nd	4,4080	78,99
2001	0,0822	0,0458	0,0697	nd	nd	11	30	45	nd	nd	0,7841	1,9662	2,8467	nd	nd	4,4994	78,31
2002	0,0780	0,0454	0,0642	nd	nd	10	32	45	nd	nd	0,6705	1,9601	2,6800	nd	nd	4,0850	78,65
2003	0,0746	0,0447	0,0643	nd	nd	11	31	44	nd	nd	0,7190	1,8920	2,6060	nd	nd	4,2103	77,52
2004	0,0760	0,0482	0,0667	nd	nd	12	32	46	nd	nd	0,7974	2,0190	2,8350	nd	nd	4,5200	78,57
2005	0,0756	0,0465	0,0665	nd	nd	11	32	47	nd	nd	0,7217	1,9885	2,8349	nd	nd	4,2640	77,13
2006	0,0720	0,0441	0,0615	nd	nd	11	32	46	nd	nd	0,7061	1,9256	2,6690	nd	nd	4,0590	77,86
2007	0,0761	0,0417	0,0634	nd	nd	11	32	45	nd	nd	0,7252	1,9466	2,6369	nd	nd	4,1240	77,68
2008	0,0736	0,0450	0,0655	nd	nd	10	33	45	nd	nd	0,6469	1,9882	2,6640	nd	nd	4,3918	76,69
2009	0,0719	0,0462	0,0622	nd	nd	12	30	45	nd	nd	0,7504	1,7962	2,6195	nd	nd	3,9230	78,04
2010	0,0751	0,0486	0,0638	nd	nd	10	32	46	nd	nd	0,6405	1,9464	2,7404	nd	nd	4,0431	78,22
2011	0,0736	0,0481	0,0667	nd	nd	11	31	44	nd	nd	0,7311	1,9338	2,6875	nd	nd	4,2580	77,58
2012	0,0749	0,0505	0,0675	nd	nd	12	32	45	nd	nd	0,7944	2,0411	2,8175	nd	nd	4,4295	78,23
2013	0,0845	0,0507	0,0661	nd	nd	12	28	44	nd	nd	0,8531	1,9104	2,8619	nd	nd	4,5700	77,72

Tableau 3. Coefficients de détermination ( $R^2$ ) et valeurs de  $p$  des régressions linéaires mesurées aux indices de croissance PME, PMH, DME, DMH et TME sur les saumons unibermarins et dibermarins entre : a) la somme des distances intercirculi ou la longueur moyenne à la fourche (cm) et le nombre correspondant de paires de circuli; b) l'indice de croissance SOM et la somme des distances intercirculi.

a)		Nombre de paires de circuli aux indices de croissance				
		PME	PMH	DME	DMH	TME
Saumons unibermarins	Somme des distances intercirculi	0,99 ( $< 0,001$ )	0,84 ( $< 0,001$ )	0,73 ( $< 0,001$ )	nd	nd
	Longueur moyenne à la fourche	n.s.	0,62 ( $< 0,001$ )	0,72 ( $< 0,001$ )	nd	nd
Saumons dibermarins	Somme des distances intercirculi	0,86 ( $< 0,001$ )	0,80 ( $< 0,001$ )	0,73 ( $< 0,001$ )	0,42 ( $< 0,01$ )	n.s.
	Longueur moyenne à la fourche	n.s.	0,14 ( $< 0,01$ )	0,32 ( $< 0,001$ )	0,71 ( $< 0,001$ )	n.s.

b)		Somme des distances intercirculi aux indices de croissance				
		PME	PMH	DME	DMH	TME
Saumons unibermarins	SOM	n.s.	0,64 ( $< 0,001$ )	0,67 ( $< 0,001$ )	nd	nd
Saumons dibermarins	SOM	0,36 ( $< 0,001$ )	0,47 ( $< 0,001$ )	0,59 ( $< 0,001$ )	0,89 ( $< 0,001$ )	0,89 ( $< 0,001$ )

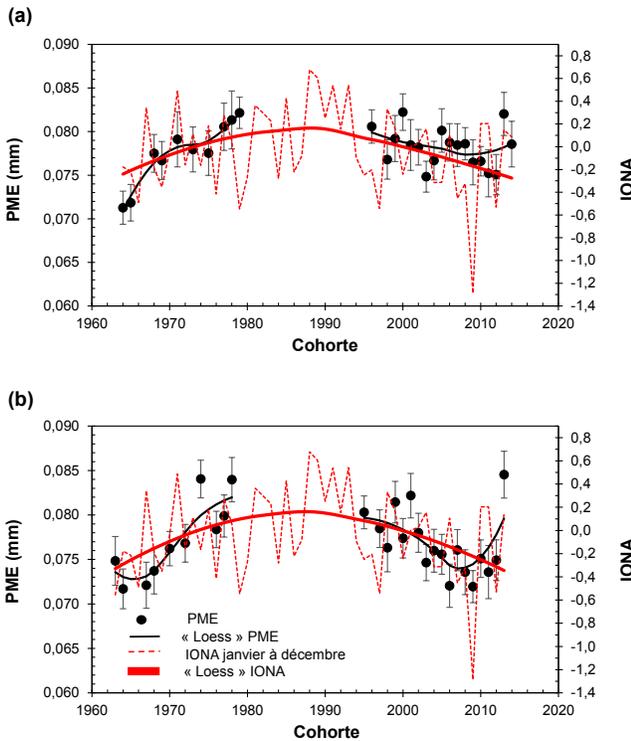


Figure 7. Indice de croissance PME (premier maximum estival) (mm)  $\pm$  IC 95 % et indice de l'oscillation nord-atlantique (IONA; moyennes annuelles des mois de janvier à décembre) avec valeurs lissées (méthode « loess ») pour : a) les saumons unibermarins; b) les saumons dibermarins.

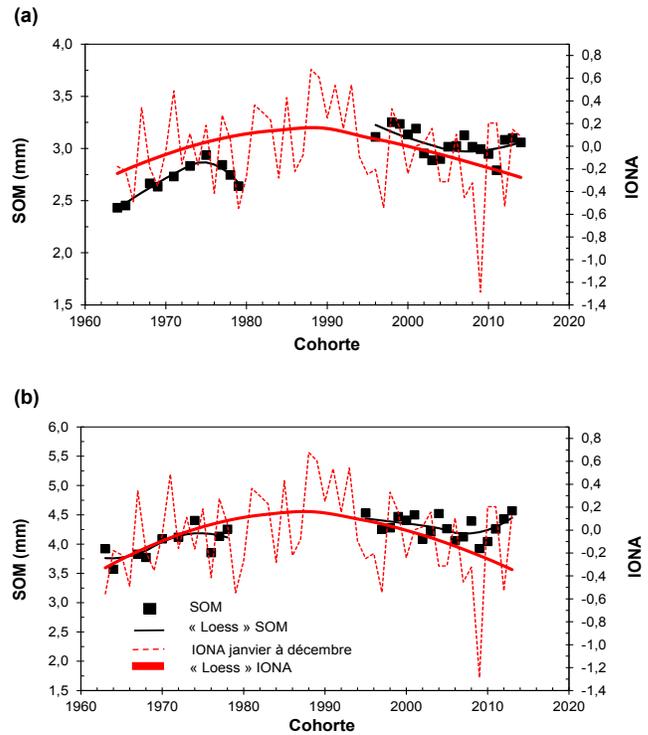


Figure 8. Indice de croissance SOM (somme des distances intercirculi de la zone de croissance marine de l'écaille) (mm) et indice de l'oscillation nord-atlantique (IONA; moyennes annuelles des mois de janvier à décembre) avec valeurs lissées (méthode « loess ») pour : a) les saumons unibermarins; b) les saumons dibermarins.

### **Indices de croissance, nombres de saumons de retour en rivière et l'oscillation nord-atlantique**

Dans l'ensemble, les tendances des 2 indices de croissance marine s'apparentent grandement aux tendances générales de l'IONA en ce sens qu'elles présentent, à la fois, une période de croissance suivie d'une décroissance (figures 7 et 8). Les variations de l'IONA se caractérisent par une tendance à la hausse de 1963 (première année de croissance en mer des saumons dibermarins capturés en 1965) jusqu'à la fin des années 1980, et par une tendance à la baisse jusqu'en 2014 (première année de croissance en mer des saumons unibermarins capturés en 2015). La tendance à la baisse des indices de croissance fait suite à la valeur la plus élevée de l'IONA qui a été mesurée en 1989. Par ailleurs, les indices de croissance élevés des cohortes récentes sont également associés à des valeurs annuelles élevées de l'IONA (sauf en 2012). Cette hausse des indices de croissance et de l'IONA fait suite à la plus faible valeur enregistrée, par ce dernier, en 2009.

Les nombres de saumons de retour en rivière présentent également des tendances qui s'apparentent à celles de l'IONA (figure 3). Par exemple, la tendance à la hausse de l'IONA est accompagnée d'une tendance à la hausse des retours des saumons unibermarins et rédibermarins. Cependant, la tendance à la baisse de l'IONA, débutant à la fin des années 1980, n'est accompagnée d'une tendance à la baisse des saumons unibermarins qu'à partir du début des années 2000 seulement. Par ailleurs, lors de la tendance à la hausse de l'IONA, les retours ont été plus nombreux chez les saumons rédibermarins que chez les saumons unibermarins. L'inverse s'est produit de la fin des années 1980 jusqu'en 2013.

### **Discussion**

Les principales observations à retenir de cette étude sur le saumon atlantique de la rivière Matane sont : (i) la croissance similaire des saumons unibermarins et dibermarins au cours de la première année en mer ; (ii) l'atteinte, avant le premier hiver en mer, d'une longueur corporelle critique déterminant la taille à la première maturité ; (iii) la similitude entre les indices de la croissance marine et le nombre de saumons de retour en rivière ; et (iv) la similitude entre les indices de croissance, les retours en rivière et l'IONA.

#### **Similitudes de croissance au cours de la première année en mer**

Cette étude a permis de mettre en évidence la similitude de la plupart des motifs de déposition des circuli des saumons unibermarins et dibermarins qui ont smoltifié la même année. Cette similitude suggère que ces saumons se sont trouvés, lors de leur première année en mer, dans des régions présentant des conditions de croissance similaires. Par contre, lors de la migration génésique, ces 2 groupes de saumons provenaient vraisemblablement de régions ayant des conditions environnementales différentes, comme le suggère la présence de l'indice DME chez les unibermarins et l'absence de l'indice

TME chez une majorité des dibermarins, particulièrement lors de la deuxième période. Cette absence de l'indice TME signifie également qu'il n'y a pas eu de croissance importante chez les saumons dibermarins lors de leur migration génésique.

Les autres motifs de déposition, caractérisés chez les saumons unibermarins par des distances intercirculi plus grandes, ont également été observés chez des cohortes de saumons d'élevage destinées aux rivières Penobscot et Connecticut aux États-Unis (Friedland et Haas, 1996; Friedland et collab., 1996). De tels motifs suggèrent que la croissance lors de la première année en mer serait un facteur déterminant de l'âge à la maturité et, par conséquent, de la durée de vie passée en mer. Comme le mentionnent Good et Davidson (2016), la maturation en mer du saumon atlantique est un processus complexe résultant, probablement, de l'interaction entre plusieurs facteurs environnementaux, physiologiques et génétiques. De plus, ces auteurs reconnaissent que les variations extrêmes de maturation qui caractérisent le saumon atlantique sont le résultat d'une adaptation évolutive à différentes rivières et à différents milieux marins, afin de maximiser le succès reproducteur.

#### **Atteinte d'une longueur corporelle critique**

Chez les saumons unibermarins, la présence d'une relation linéaire significative entre la longueur corporelle moyenne et le nombre de circuli au PMH, et son absence au PME, suggère que la période de croissance comprise entre ces 2 indices est décisive dans l'atteinte de la taille à la première maturité. Une telle relation a déjà été observée chez le saumon atlantique (Peyronnet et collab., 2007) et est en accord avec une hypothèse concernant la croissance du saumon coho (*Oncorhynchus kisutch*) du détroit de Georgia, sur la côte ouest-canadienne (Beamish et collab., 2004). Cette hypothèse porte sur la nécessité de l'atteinte d'une longueur corporelle « critique » minimale à la fin du premier automne en mer pour combler la demande métabolique de l'hiver. Chez les saumons dibermarins, la présence d'une relation linéaire significative entre la longueur corporelle moyenne et le nombre de circuli au PMH, de même que l'absence d'une telle relation au PME, indiquent également l'importance de la taille à atteindre avant le premier hiver en mer. Il y aurait donc un moment de l'année (les premières semaines ou les premiers mois suivant la smoltification) où, non pas une seule, mais plusieurs variables environnementales pourraient être plus importantes pour la croissance qu'à d'autres moments. Par contre, la tendance à la hausse de l'IONA suggère la présence de meilleures conditions générales de croissance sur l'ensemble de l'année, ce qui inclut la période suivant la smoltification (et l'inverse pour la seconde tendance).

#### **Similitude entre les indices de croissance et les retours en rivière**

Cette étude n'a pas permis de mettre en évidence des relations statistiquement significatives entre les nombres de saumons de retour en rivière annuellement et les divers indices de croissance, tant chez les saumons unibermarins

que d'ibermarins. Les fortes variations interannuelles des nombres de saumons de retour en rivière expliquent cette absence de relations statistiquement significatives, ce qui n'exclut cependant pas qu'il puisse y avoir un lien entre ces 2 variables. En effet, chez les 2 groupes de saumons étudiés, la similitude entre les tendances de la croissance et celles des variations d'abondance en rivière suggère qu'il existe un lien entre la croissance en mer et les retours en rivière. Ce constat est conforme à l'hypothèse de la relation inverse entre la croissance et la mortalité naturelle en mer, proposée par Doubleday et collab. (1979).

Outre l'IONA dont il sera question ultérieurement, d'autres facteurs que la croissance peuvent aussi influencer la mortalité en mer et, donc, les retours en rivière. Parmi les facteurs d'ordre naturel, on trouve, par exemple, l'abondance et la diversité des producteurs primaires et secondaires (Renkawitz et collab., 2015), la prédation par les poissons (Gibson et collab., 2015), les oiseaux (Halfyard et collab., 2012; Montevicchi et collab., 2002) et les mammifères marins (Butler et collab., 2006; Whoriskey et collab., 2006), de même que la présence de parasites (Holst et collab., 1993; Vollset et collab., 2016). Citons également la taille des saumoneaux lors de la dévalaison (Antonsson et collab., 2010; Salminen et collab., 1995), le moment de leur arrivée en mer (Dempson et collab., 2003; Duncan et collab., 2002; Karppinen et collab., 2014) et la durée du séjour en mer (Jonsson et collab., 1991; 2003).

Il y a également des facteurs d'ordre anthropique comme les interactions avec les saumons d'élevage (Crozier, 1993; Hindar et Fleming, 2007), la pollution (Scott, 2001) et les pêches en mer, que ce soit sur les aires d'alimentation marines ou à proximité de la rivière natale. Par ailleurs, la fermeture en 1972 de la pêche commerciale au filet maillant, sélective en fonction de la taille, a été à l'origine de l'augmentation immédiate du nombre de retours des saumons d'ibermarins et tribermarins en rivière de 1972 à 1980 (Côté et Tétreault, 1976). Cette augmentation des retours en rivière à partir de 1972, indépendamment des conditions de croissance, s'est vraisemblablement répercutée, dans une certaine mesure, sur le recrutement des générations ultérieures. Cet effet n'existe pas chez les saumons unibermarins qui n'étaient pas capturés par la pêche commerciale.

Desensemencements de poissons élevés en piscicultures ont été réalisés entre 1965 et 1997 dans la rivière Matane. Les déversements d'alevins et de tacons ont été relativement modestes, tandis que lesensemencements de saumoneaux prêts à migrer ont été plus substantiels. Si l'on applique les taux de survie normalisés et les barèmes de calcul proposés par Caron et collab. (1991), en tenant compte des résultats observés par Côté et Dulude (1986) dans le cas de la rivière Matane, on arrive à la conclusion que les retours de saumons associés à cesensemencements sont bien en deçà des limites de variations annuelles des montaisons de saumons et qu'ils n'ont aucun impact sur l'interprétation des résultats observés dans la présente étude.

Enfin, il convient de préciser que les nombres de saumons de retour en rivière ne représentent pas un indicateur du taux de survie naturelle en mer, car ils ne tiennent pas compte de l'effectif des cohortes de saumoneaux qui quittent annuellement la rivière Matane. Le nombre de saumons de retour en rivière résulte de l'effet combiné de l'effectif des cohortes de saumoneaux migrateurs, du taux de survie naturelle et du taux de survie après la pêche en mer. C'est le nombre de saumons de retour en rivière qui a le plus d'importance pour les gestionnaires de la pêche récréative de cette espèce.

### ***Similitude entre les indices de croissance, les retours en rivière et l'IONA***

Une multiplicité des facteurs d'origine naturelle et anthropique, dont les variations ne sont pas nécessairement synchrones, peuvent affecter la croissance et la mortalité en mer et, par ricochet, la variation interannuelle des nombres de saumons survivant à la vie marine et de retour en rivière. En dépit de ce fait, cette étude met en lumière l'existence d'une grande similitude entre 3 variables, soit les tendances interannuelles de l'IONA, celles des indices de croissance marine, et celles des nombres de saumons de retour à la rivière Matane. Ces 3 variables évoluent de la même façon dans le temps. Elles suivent une tendance ascendante pour la période 1964 à 1979, et une tendance descendante pour la période 1995 à 2012. Cette simultanéité de phases nous porte à croire qu'il doit exister un facteur clé agissant en mer, qui serait responsable, plus que tout autre, de la variation du nombre de saumons de retour en rivière après leur séjour marin. Nous estimons, dans le cas de la rivière Matane, que le facteur clé est l'oscillation nord-atlantique dont les variations à la hausse, ou à la baisse, provoquent des modifications écosystémiques susceptibles de favoriser, ou de défavoriser, la survie des saumoneaux migrateurs, et dont les effets sont particulièrement importants au moment où leurs cohortes sont numériquement les plus abondantes. Une fois cette période de mortalité passée, les facteurs de mortalité subséquents, agissant alors sur des cohortes largement déprimées, peuvent certes atténuer ou moduler légèrement les tendances populationnelles des saumons, mais n'en modifient pas la tendance à la hausse ou à la baisse initiée par les variations de l'IONA.

Plusieurs auteurs ont déjà établi des liens, d'une part, entre l'IONA et la température de l'eau et, d'autre part, entre l'IONA et le recrutement, la maturité, la croissance et la survie du saumon dans le nord de l'Atlantique (Friedland et collab., 2003; 2009; Jonsson et Jonsson, 2004a; 2004b). Sur la côte ouest du Groenland, des changements de croissance ont également été associés à la température de surface de l'eau (Friedland et Todd, 2012). Bien que les résultats de cette dernière étude soient similaires à la nôtre, ils ne concernent pas les saumons unibermarins. De plus, ils portent sur un stock mixte de saumons dont seule l'origine continentale a été confirmée. Par contre, la présente étude s'adresse

spécifiquement à un stock d'origine connue, la rivière Matane. En outre, elle porte sur les 2 groupes d'âge marin les plus nombreux dans une cohorte annuelle de saumons matures de retour en rivière, comme cela est observé dans de nombreuses rivières de la Gaspésie.

### **Recherche complémentaire et perspective globale**

Le suivi à long terme est un élément essentiel à l'évaluation et à la gestion des stocks de poissons (Noble et collab., 2007). Il permet de réaliser des mises à jour périodiques de l'état d'une ressource, la détection de changements majeurs et la présence de tendances. Chez le saumon de la rivière Matane, il est également important de poursuivre le programme à long terme de prélèvements d'écaillés afin de: (i) conserver et bonifier la valeur historique de cette collection; (ii) étudier les variations multidécennales de la croissance scalaire; et (iii) répondre, évidemment, à des besoins futurs.

La collection actuelle d'écaillés de la rivière Matane pourrait être exploitée davantage. Ainsi, l'écologie du régime alimentaire lors du séjour en mer pourrait être étudiée par la composition isotopique en carbone et en azote mesurée au niveau des différentes zones de croissance de l'écaillé (Dixon et collab., 2015). Les indices de croissance pourraient également être analysés en fonction des températures satellitaires de la surface de l'océan afin de modéliser les habitats préférentiels du saumon. Enfin, le matériel biologique recouvrant les écaillés pourrait être utilisé en vue d'études génétiques à des fins de conservation et de gestion.

Chez le saumon atlantique, le maintien et le développement d'un programme de suivi à long terme, spécifique à chacune des rivières, sont essentiels à l'élaboration de règles rationnelles et adaptées de gestion (Chaput, 2012). En ce sens, la présente étude représente une contribution additionnelle à la compréhension des mécanismes affectant les nombres de saumons de retour dans une rivière de l'est du Canada.

### **Remerciements**

Les auteurs adressent leurs remerciements à Sébastien Ross, Jérôme Doucet-Caron et Denise Deschamps du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec pour avoir mis à leur disposition l'impressionnante collection d'écaillés de la rivière Matane. Des remerciements sont aussi exprimés au ministère Pêches et Océans Canada (MPO), en particulier à l'Institut Maurice-Lamontagne de Mont-Joli, pour le matériel ayant servi à la préparation, à l'analyse et à l'entreposage des écaillés. Les auteurs adressent enfin leurs remerciements à l'équipe éditoriale de cette revue et aux réviseurs externes pour leur contribution essentielle à l'amélioration du manuscrit initial de cet article.

Les auteurs tiennent à souligner, à titre posthume, la contribution de Vianney Legendre, biologiste, à qui l'on doit la création des néologismes « unibermarin et rédibermarin », qualificatifs français correspondant aux termes anglais « *one-sea winter salmon and multi-sea winter salmon* », et à partir

desquels se sont développées spontanément les appellations « saumons d'ibermarins et tribermarins ». Le second auteur de cette publication peut mettre à disposition la correspondance de V. Legendre (juillet 1975) adressée à J. A. Ritter (autrefois MPO, Halifax) à ce sujet, afin que ces néologismes soient publiés dans la terminologie française relative au saumon atlantique alors envisagée par le CIEM ce qui, ultimement, ne s'est pas produit. ◀

### **Références**

- ALLAN, I.R.H. et J.A. RITTER, 1977. Salmonid terminology. *ICES Journal of Marine Science*, 37: 293-299. <https://doi.org/10.1093/icesjms/37.3.293>.
- ANTONSSON, T., T. HEIDARSSON et S.S. SNORRASON, 2010. Smolt emigration and survival to adulthood in two Icelandic stocks of Atlantic salmon. *Transactions of the American Fisheries Society*, 139: 1688-1698. <https://doi.org/10.1577/T08-200.1>.
- BAGLINIÈRE, J.L. et J.P. PORCHER, 1994. Caractéristiques des stocks de reproducteurs et comportement lors de la migration génésique. Dans: GUEGUEN, J.C. et P. PROUZET (édit.). *Le saumon atlantique*. Éditions de l'IFREMER, Brest, p. 101-122.
- BEAMISH, R.J., C. MAHNKEN et C.M. NEVILLE, 2004. Evidence that reduced early marine growth is associated with lower marine survival of coho salmon. *Transactions of the American Fisheries Society*, 133: 26-33. <https://doi.org/10.1577/T03-028>.
- BEAUGRAND, G., 2015. Large-scale hydro-climatic variability. Dans: BEAUGRAND, G. (édit.). *Marine biodiversity, climatic variability and global change*. Routledge, New York, NY, p. 19-60.
- BEAUGRAND, G. et P.C. REID, 2003. Long-term changes in phytoplankton, zooplankton and salmon related to climate. *Global Change Biology*, 9: 801-817. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2003.00632.x>.
- BEAUGRAND, G. et P.C. REID, 2012. Relationships between North Atlantic salmon, plankton, and hydroclimatic change in the Northeast Atlantic. *ICES Journal of Marine Science*, 69: 1549-1562. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fss153>.
- BUTLER, J.R.A., S.J. MIDDLEMAS, I.M. GRAHAM, P.M. THOMPSON et J.D. ARMSTRONG, 2006. Modelling the impacts of removing seal predation from Atlantic salmon, *Salmo salar*, rivers in Scotland: A tool for targeting conflict resolution. *Fisheries Management and Ecology*, 13: 285-291. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2400.2006.00504.x>.
- CARON, F., S. LACHANCE et J.-P. LE BEL, 1991. Normes biologiques applicables dans le cadre du programme de développement économique du saumon. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche du Québec, Direction de la gestion des espèces et des habitats, Service de la faune aquatique, 58 p.
- CHAPUT, G., 2012. Overview of the status of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in the North Atlantic and trends in marine mortality. *ICES Journal of Marine Science*, 69: 1538-1548. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fss013>.
- [COSEPAC] COMITÉ SUR LA SITUATION DES ESPÈCES EN PÉRIL AU CANADA, 2010. Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur le saumon atlantique (*Salmo salar*) au Canada. COSEPAC, Ottawa, 162 p. Disponible en ligne à: [https://wildlife-species.canada.ca/species-risk-registry/virtual\\_sara/files/cosewic/sr\\_Atlantic\\_Salmon\\_2011a\\_f.pdf](https://wildlife-species.canada.ca/species-risk-registry/virtual_sara/files/cosewic/sr_Atlantic_Salmon_2011a_f.pdf).
- CÔTÉ, Y. et B. TÊTREAU, 1976. Ban on nets improves salmon stocks. *The Atlantic Salmon Journal*, 2: 18-23.
- CÔTÉ, Y. et P. DULUDE, 1986. Contribution des saumoneaux de pisciculture aux pêcheries éloignées et estimation des taux de retour en rivière. Dans: GONTHIER, S. et Y. CÔTÉ (édit.). *Colloque sur l'élevage et l'ensemencement du saumon atlantique*. Forêt Montmorency, Québec, ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, p. 245-260. Disponible en ligne à: <ftp://transfert.mern.gouv.qc.ca/public/biblio/Mono/2012/06/1114923.pdf>.
- CROZIER, W.W., 1993. Evidence of genetic interaction between escaped and farmed salmon and wild Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) on a Northern Irish river. *Aquaculture*, 113: 19-29.

- DEMPSON, J.B., C.C. MULLINS, C. BOURGEOIS, M.F. O'CONNELL et D.G. REDDIN, 2003. Perspectives on smolt production and marine survival of Newfoundland Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) related to smolt size and run timing. Dans: POTTER, E.C.E., N.Ó. MAOILÉIDIGH et G. CHAPUT (édit.). Marine mortality of Atlantic salmon, *Salmo salar* L: Methods and measures. Canadian Science Advisory Secretariat Research Document, 2003/101, p. 27-43. Disponible en ligne à: <http://waves-vagues.dfo-mpo.gc.ca/Library/281668.pdf>.
- DEMPSON, J.B., D.G. REDDIN, M.F. O'CONNELL, J. HELBIG, C.E. BOURGEOIS, C. MULLINS, T.R. PORTER, G. LILLY, J. CARSCADDEN, G.B. STENSON et D. KULKA, 1998. Spatial and temporal variation in Atlantic salmon abundance in the Newfoundland-Labrador region with emphasis on factors that may have contributed to low returns in 1997. Canadian Science Advisory Secretariat Research Document, 98/114, 161 p. Disponible en ligne à: <http://waves-vagues.dfo-mpo.gc.ca/Library/230064.pdf>.
- DESCHAMPS, D., 2012. Technique de préparation de structures et d'interprétation de l'âge chez le saumon atlantique (*Salmo salar*). Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec, 35 p.
- DIXON, H.J., J.B. DEMPSON et M. POWER, 2015. Assessing the use of different marine growth zones of adult Atlantic salmon scales for studying marine trophic ecology with stable isotope analysis. Fisheries Research, 164: 112-119. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2014.10.009>.
- DOUBLEDAY, W.G., D.R. RIVARD, J.A. RITTER et K.U. VICKERS, 1979. Natural mortality rate estimates for North Atlantic salmon in the sea. ICES CM 1979/M:26, 15 p.
- DUNCAN, N.J., M.A. THRUSH, J.A.K. ELLIOTT et N.R. BROMAGE, 2002. Seawater growth and maturation of Atlantic salmon (*Salmo salar*) transferred to sea at different times during the year. Aquaculture, 213: 293-309.
- FJELLDAL, P.G., U. NORDGARDEN, A. BERG, S. GROTMOL, G.K. TOTLAND, A. WARGELIUS et T. HANSEN, 2005. Vertebrae of the trunk and tail display different growth rates in response to photoperiod in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., post-smolts. Aquaculture, 250: 516-524.
- FISHER, J.P. et W.G. PEARCY, 2005. Seasonal changes in growth of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) off Oregon and Washington and concurrent changes in the spacing of scale circuli. Fishery Bulletin, 103: 34-51.
- FRIEDLAND, K.D. et R.E. HAAS, 1996. Marine post-smolt growth and age at maturity of Atlantic salmon. Journal of Fish Biology, 48: 1-15. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1996.tb01414.x>.
- FRIEDLAND, K.D. et C.D. TODD, 2012. Changes in Northwest Atlantic Arctic and Subarctic conditions and the growth response of Atlantic salmon. Polar Biology, 35: 593-609.
- FRIEDLAND, K.D., R.E. HAAS et T.F. SHEENAN, 1996. Post-smolt growth, maturation, and survival of two stocks of Atlantic salmon. Fishery Bulletin, 94: 654-663.
- FRIEDLAND, K.D., D.G. REDDIN, J.R. MCMENEMY et K.F. DRINKWATER, 2003. Multidecadal trends in North American Atlantic salmon (*Salmo salar*) stocks and climate trends relevant to juvenile survival. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 60: 563-583. <https://doi.org/10.1139/f03-047>.
- FRIEDLAND, K.D., J.C. MACLEAN, L.P. HANSEN, A.J. PEYRONNET, L. KARLSSON, D.G. REDDIN, N.Ó. MAOILÉIDIGH et J.L. MCCARTHY, 2009. The recruitment of Atlantic salmon in Europe. ICES Journal of Marine Science, 66: 289-304. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsn210>.
- GAUTHIER-OUELLET, M., M. DIONNE, F. CARON, T.L. KING et L. BERNATCHEZ, 2009. Spatiotemporal dynamics of the Atlantic salmon (*Salmo salar*) Greenland fishery inferred from mixed-stock analysis. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 66: 2040-2051. <https://doi.org/10.1139/F09-147>.
- GIBSON, A.J.F., E.A. HALFYARD, R.G. BRADFORD, M.J.W. STOKESBURY et A.M. REDDEN, 2015. Effects of predation on telemetry-based survival estimates: Insights from a study on endangered Atlantic salmon smolts. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 72: 728-741. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2014-0245>.
- GOOD, C. et J. DAVIDSON, 2016. A review of factors influencing maturation of Atlantic salmon, *Salmo salar*, with focus on water recirculation aquaculture system environments. Journal of the World Aquaculture Society, 47 (5): 605-632. <https://doi.org/10.1111/jwas.12342>.
- GUÉRARD, M., 2016. Bilan de l'exploitation du saumon au Québec en 2015. Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Secteur de la faune et des parcs, 299 p. Disponible en ligne à: <https://mffp.gouv.qc.ca/nos-publications/bilan-exploitation-saumon-2015/>.
- HALFYARD, E.A., A.J.F. GIBSON, D.E. RUZZANTE, M.J.W. STOKESBURY et F.G. WHORISKEY, 2012. Estuarine survival and migratory behaviour of Atlantic salmon *Salmo salar* smolts. Journal of Fish Biology, 81: 1626-1645. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2012.03419.x>.
- HASTIE, T. et R. TIBSHIRANI, 1986. Generalized additive models (with discussion). Statistical Science, 1: 297-318.
- HASTIE, T. et R. TIBSHIRANI, 1990. Generalized Additive Models. Chapman and Hall/CRC, New York, NY, 335 p.
- HEIDARSSON, T., T. ANTONSSON et S. SNORRASON, 2006. The relationship between body and scale growth proportions and validation of two back-calculation methods using individually tagged and recaptured wild Atlantic salmon. Transactions of the American Fisheries Society, 135: 1156-1164. <https://doi.org/10.1577/T05-286.1>.
- HINDAR, K. et I.A. FLEMING, 2007. Behavioral and genetic interactions between escaped farm salmon and wild Atlantic salmon. Dans: BERT, T.M. (édit.). Ecological and genetic implications of aquaculture activities. Springer, Dordrecht, The Netherlands, p. 115-122.
- HOGAN, F. et K.D. FRIEDLAND, 2010. Retrospective growth analysis of Atlantic salmon *Salmo salar* and implications for abundance trends. Journal of Fish Biology, 76: 2502-2520. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2010.02650.x>.
- HOLST, J.C., F. NILSEN, K. HODNELAND et A. NYLUND, 1993. Observations of the biology and parasites of postsmolt Atlantic salmon, *Salmo salar*, from the Norwegian Sea. Journal of Fish Biology, 42: 962-966. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1993.tb00402.x>.
- HURRELL, J.W., Y. KUSHNIR et M. VISBECK, 2001. Climate — the North Atlantic oscillation. Science, 29: 603-605.
- [ICES] INTERNATIONAL COUNCIL FOR THE EXPLORATION OF THE SEA, 1992. Atlantic salmon scale reading guidelines. ICES Cooperative Research Report, 188, 46 p.
- [ICES] INTERNATIONAL COUNCIL FOR THE EXPLORATION OF THE SEA, 2015. Report of the Working Group on North Atlantic Salmon (WGNAS), 17-26 March, Moncton, Canada. ICES Document, CM 2015/ACOM:09, 330 p.
- IMSLAND, A.K., S.O. HANDELAND et S.O. STEFANSSON, 2014. Photoperiod and temperature effects on growth and maturation of pre- and post-smolt Atlantic salmon. Aquaculture International, 22: 1331-1345. <https://doi.org/10.1007/s10499-014-9750-1>.
- JENSEN, A.J., N.Ó. MAOILÉIDIGH, K. THOMAS, S.M. EINARSSON, M. HAUGLAND, J. ERKINARO, P. FISKE, K.D. FRIEDLAND, A.K. GUDMUNDSDOTTIR, J. HAANTIE, M. HOLM, J.C. HOLST, J.A. JACOBSEN, J.G. JENSÁS, J. KUUSELA, W. MELLE, K.A. MORK, V. WENNEVIK et G.M. ØSTBORG, 2012. Age and fine-scale marine growth of Atlantic salmon post-smolts in the Northeast Atlantic. ICES Journal of Marine Science, 69 (9): 1668-1677. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fss086>.
- JONSSON, B. et N. JONSSON, 2004a. Factors affecting marine production of Atlantic salmon (*Salmo salar*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 61: 2369-2383. <https://doi.org/10.1139/f04-215>.
- JONSSON, N. et B. JONSSON, 2004b. Size and age of maturity of Atlantic salmon correlate with the North Atlantic Oscillation Index (NAOI). Journal of Fish Biology, 64: 241-247. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2004.00269.x>.
- JONSSON, B., N. JONSSON et L.P. HANSEN, 1991. Differences in life history and migratory behaviour between wild and hatchery-reared Atlantic salmon in nature. Aquaculture, 98: 69-78.

- JONSSON, B., R.S. WAPLES et K.D. FRIEDLAND, 1999. Extinction considerations for diadromous fishes. *ICES Journal of Marine Science*, 56: 405-409. <https://doi.org/10.1006/jmsc.1999.0483>.
- JONSSON, N., B. JONSSON et L.P. HANSEN, 2003. The marine survival and growth of wild and released hatchery reared Atlantic salmon. *Journal of Applied Ecology*, 40: 900-911. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2003.00851.x>.
- KARPPINEN, P., P. JOUNELA, R. HUUSKO et J. ERKINARO, 2014. Effects of release timing on migration behaviour and survival of hatchery-reared Atlantic salmon smolts in a regulated river. *Ecology of Freshwater Fish*, 23: 438-452. <https://doi.org/10.1111/eff.12097>.
- LEAR, W.H., 1993. The management of Canadian Atlantic salmon fisheries. Dans: PARSONS, L.S. et W.H. LEAR (édit.). *Perspectives on Canadian marine fisheries management*. Canadian Bulletin of Fisheries and Aquatic Sciences, 226, p. 151-176.
- MAHÉ, K., D. DESCHAMPS, R. ELLEBOODE et H. CORAGUER, 2012. Saumon (*Salmo salar*) d'Atlantique Nord-Ouest: calibration franco-canadienne de l'estimation de l'âge. Ministère français de l'Outre-mer. IFREMER, France, 38 p. Disponible en ligne à: <https://archimer.ifremer.fr/doc/00116/22680/20415.pdf>.
- MAOILÉIDIGH, N.Ó., E.C.E. POTTER, P. MCGINNITY, W.W. CROZIER, L.P. HANSEN, G. GUDBERGSSON, É. PRÉVOST, L. KARISSON et J. MACLEAN, 2003. Examination of marine survival datasets for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in the North East Atlantic area. Dans: POTTER, E.C.E., N.Ó. MAOILÉIDIGH et G. CHAPUT (édit.). *Marine mortality of Atlantic salmon, Salmo salar L: Methods and measures*. Canadian Science Advisory Secretariat Research Document, 2003/101, p. 10-26. Disponible en ligne à: <http://waves-vagues.dfo-mpo.gc.ca/Library/281668.pdf>.
- MONTEVECCHI, W.A., D.K. CAIRNS et R.A. MYERS, 2002. Predation on marine-phase Atlantic salmon (*Salmo salar*) by gannets (*Morus bassanus*) in the Northwest Atlantic. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 59: 602-612. <https://doi.org/10.1139/f02-033>.
- [MPO] PÊCHES ET OCÉANS CANADA, 2018. Capelin Northwest Atlantic Fisheries Organization Divisions 4RST (Capelin Fishing Areas 12-16). Disponible en ligne à: <https://www.dfo-mpo.gc.ca/fisheries-peches/ifmp-gmp/capelin-capelan/index-eng.html>. [Visité le 2020-02-02].
- [NOAA] NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION, 2016. Earth system research laboratory/climate indices: Monthly atmospheric and ocean time series. Disponible en ligne à: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/>. [Visité le 2020-02-02].
- NOBLE, R.L., D.J. AUSTEN et M.A. PEGG, 2007. Fisheries management study design considerations. Dans: GUY, C.S. et M.L. BROWN (édit.). *Analysis and interpretation of freshwater fisheries data*. American Fisheries Society, Bethesda, MD, p. 31-49.
- OTTERSEN, G., B. PLANQUE, A. BELGRANO, E. POST, P.C. REID et N.C. STENSETH, 2001. Ecological effects of the North Atlantic Oscillation. *Oecologia*, 128: 1-14.
- PEYRONNET, A., K.D. FRIEDLAND, N.Ó. MAOILÉIDIGH, M. MANNING et W.R. POOLE, 2007. Links between patterns of marine growth and survival of Atlantic salmon *Salmo salar*, L. *Journal of Fish Biology*, 71: 684-700. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2007.01538.x>.
- PINHEIRO, J., D. BATES, S. DEBROY, D. SARKAR et R CORE TEAM, 2016. nlme: Linear and nonlinear mixed effects models. R package version 3.1-128. Disponible en ligne à: <http://CRAN.R-project.org/package=nlme>. [Visité le 2020-02-02].
- POLONSKII, A.B., D.V. BASHARIN, E.N. VOSKRESENSKAYA et S. WORLEY, 2004. North Atlantic Oscillation: Description, mechanisms, and influence on the Eurasian climate. *Physical Oceanography*, 15 (2): 96-113.
- POMERLEAU, C., Y. CÔTÉ et J.G. MIGNEAULT, 1980. 3- Rivière Matane à Rivière Madeleine. Dans: POMERLEAU, C., Y. CÔTÉ et J.G. MIGNEAULT (édit.). *Répertoire des données relatives aux populations de saumon atlantique (Salmo salar) des rivières de la région du Bas-Saint-Laurent et de la Gaspésie*. Ministère du Loisir de la Chasse et de la Pêche, Direction de la recherche faunique, Québec, p. 119-210. Disponible en ligne à: [https://www.cubiq.ribg.gouv.qc.ca/notice?id=p%3A%3Ausmarcdef\\_0000556387&queryId=997c4b43-99b3-4a7f-b84d-6a9508d11a77&posInSet=4](https://www.cubiq.ribg.gouv.qc.ca/notice?id=p%3A%3Ausmarcdef_0000556387&queryId=997c4b43-99b3-4a7f-b84d-6a9508d11a77&posInSet=4).
- POTTER, E.C.E. et W.W. CROZIER, 2000. A perspective on the marine survival of Atlantic salmon. Dans: MILLS, D. (édit.). *The ocean life of Atlantic salmon: Environmental and biological factors influencing survival*. Blackwell Science Ltd, Oxford, p. 19-36.
- R CORE TEAM, 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponible en ligne à: <https://www.R-project.org/>. [Visité le 2020-02-02].
- REDDIN, D.G. et K.D. FRIEDLAND, 1993. Marine environmental factors influencing the movement and survival of Atlantic salmon. Dans: MILLS, D. (édit.). *Salmon in the sea and new enhancement strategies*. Blackwell Science Ltd, Oxford, p. 79-103.
- RENKAWITZ, M.D., T.F. SHEEHAN, H.J. DIXON et R. NYGAARD, 2015. Changing trophic structure and energy dynamics in the Northwest Atlantic: implications for Atlantic salmon feeding at West Greenland. *Marine Ecology Progress Series*, 538: 197-211. <https://doi.org/10.3354/meps11470>.
- SALMINEN, M., S. KUIKKA et E. ERKAMO, 1995. Annual variability in survival of sea ranched Baltic salmon, *Salmo salar* L.: Significance of smolt size and marine conditions. *Fisheries Management and Ecology*, 2: 171-184. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2400.1995.tb00110.x>.
- SALSEA-MERGE, 2008. Workshop on digital scale reading methodology, Trondheim, Norway, 8-10 septembre 2008, 23 p.
- SCOTT, D., 2001. Chemical pollution as a factor affecting the sea survival of Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Fisheries Management and Ecology*, 8: 487-499. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2400.2001.00277.x>.
- THOMAS, K., T. HANSEN, D. BROPHY, N.Ó. MAOILÉIDIGH et P.G. FJELLDAL, 2019. Experimental investigation of the effects of temperature and feeding regime on scale growth in Atlantic salmon *Salmo salar* post-smolts. *Journal of Fish Biology*, 94: 896-908. <https://doi.org/10.1111/jfb.13971>.
- VAN RIJ, J., M. WIELING, R. BAAYEN et H. VAN RIJN, 2016. itsadug: Interpreting time series and autocorrelated data using GAMMs. R package version 2.2. Disponible en ligne à: <https://cran.r-project.org/web/packages/itsadug/index.html>. [Visité le 2020-02-02].
- VOLLSET, K.W., R.I. KRONTVEIT, P.A. JANSEN, B. FINSTAD, B.T. BARLAUP, O.T. SKILBREI, M. KRKOSEK, P. ROMUNSTAD, A. AUNSMO, A.J. JENSEN et I. DOHOO, 2016. Impacts of parasites on marine survival of Atlantic salmon: A meta-analysis. *Fish and Fisheries*, 17: 714-730. <https://doi.org/10.1111/faf.12141>.
- WHORISKEY, F.G., P. BROOKING, G. DOUCETTE, S. TINKER et J.W. CARR, 2006. Movements and survival of sonically tagged farmed Atlantic salmon released in Cobscook Bay, Maine, USA. *ICES Journal of Marine Science*, 63: 1218-1223. <https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2006.04.002>.
- WICKHAM, H., 2016. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. 2<sup>nd</sup> edition. Use R! Springer-Verlag, New York, NY, 260 p.
- WOOD, S.N., 2006. Generalized additive models: An introduction with R. Chapman and Hall/CRC, Boca Raton, FL, 391 p.
- WOOD, S.N., 2011. Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society Series B-Statistical Methodology*, 73 (1): 3-36. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9868.2010.00749.x>.
- ZIMMERMANN, F., M. CLAIREAUX et K. ENBERG, 2019. Common trends in recruitment dynamics of north-east Atlantic fish stocks and their links to environment, ecology and management. *Fish and Fisheries*, 20 (3): 518-536. <https://doi.org/10.1111/faf.12360>.

# LA FAUNE, notre mission, notre passion !

Grâce à la générosité de nos donateurs et aux contributions des chasseurs, pêcheurs et piégeurs, 270 projets de conservation de la faune ont été soutenus en 2019-2020 !



Philippe De-Boyne / Québec couleur nature

› **Faites partie du mouvement faunique !**

Devenez donateur mensuel : [www.jedonneenligne.org/fondationdelafaune/CAMP/](http://www.jedonneenligne.org/fondationdelafaune/CAMP/)



Fondation  
de la faune  
du Québec

**iAA**  
Valeurs mobilières

**Gervais Comeau** Conseiller en placement

1040, avenue Belvédère bureau 101, Québec (Québec) G1S 3G3  
Téléphone: 418 681-2442 • [gervais.comeau@iagto.ca](mailto:gervais.comeau@iagto.ca)



[www.iavaleursmobilières.ca](http://www.iavaleursmobilières.ca)



**Yvan Bedard**  
PHOTONATURE

Ph.D. Prof. émérite  
Neuville, Qc  
Canada G0A 2R0  
1-418-561-7046

[yvan\\_bedard@hotmail.com](mailto:yvan_bedard@hotmail.com)

PHOTOS-LICENCES-COURS-CONSEILS

<http://yvanbedardphotonature.com>